

Réalité augmentée et traitement d'images

Christophe Vestri

15 mars 2021

<https://github.com/vestri/CoursAR>

Plan du cours

- 7 janvier : Réalité augmentée intro, Unity/Vuforia et projet
 - 15 janvier: Construction application RA, Unity StarWars
 - 28 janvier: Vision par ordinateur (1) et Unity Roll-a-ball
 - 4 février: Vision par ordinateur (2) et Geoloc + projet
 - 11 février?? (-> 3 mars) : QRCode, Résumé et présentation des Projets
-
- **Suite: Cours Cartographie/JS/AR/VR**

Plan du cours

- 1 mars : Réalité augmentée intro, Unity/Vuforia/ARFoundation
- 9 mars: Construction application RA Unity StarWars
- 15 mars: Vision par ordinateur Intro, StarWars et Roll-a-ball
- 22 mars: Vision par ordinateur et projet
- 29 mars : Résumé et présentation des Projets

Plan Cours 3

- Vision par Ordinateur
 - Introduction
 - Comprendre l'image
 - Modélisation
 - Utilisation
- Continuer Demo star wars
- Exercice Unity Roll a ball et aide projet

Qu'est-ce que la Vision par Ordinateur

- Wikipedia:

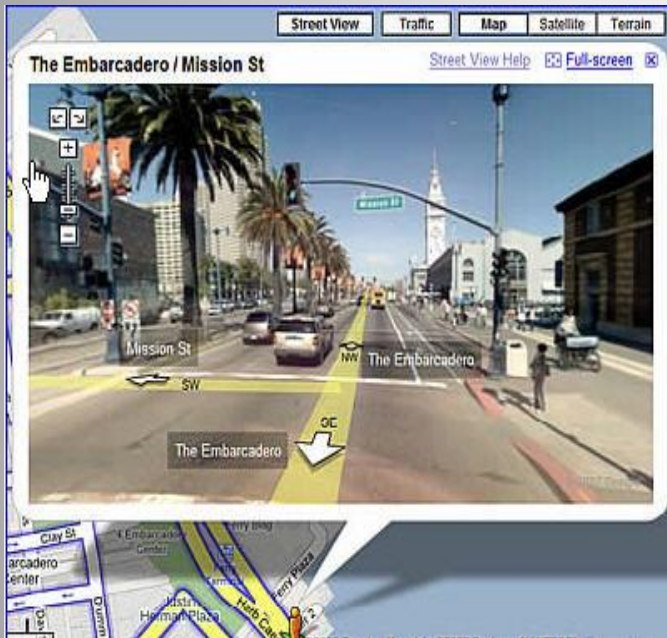
La **vision par ordinateur** (aussi appelée **vision artificielle** ou **vision numérique**) est une branche de l'[intelligence artificielle](#) dont le principal but est de permettre à une machine d'analyser, traiter et comprendre une ou plusieurs images prises par un système d'acquisition (par exemple: [caméras](#), etc.)¹.

- Ma définition:

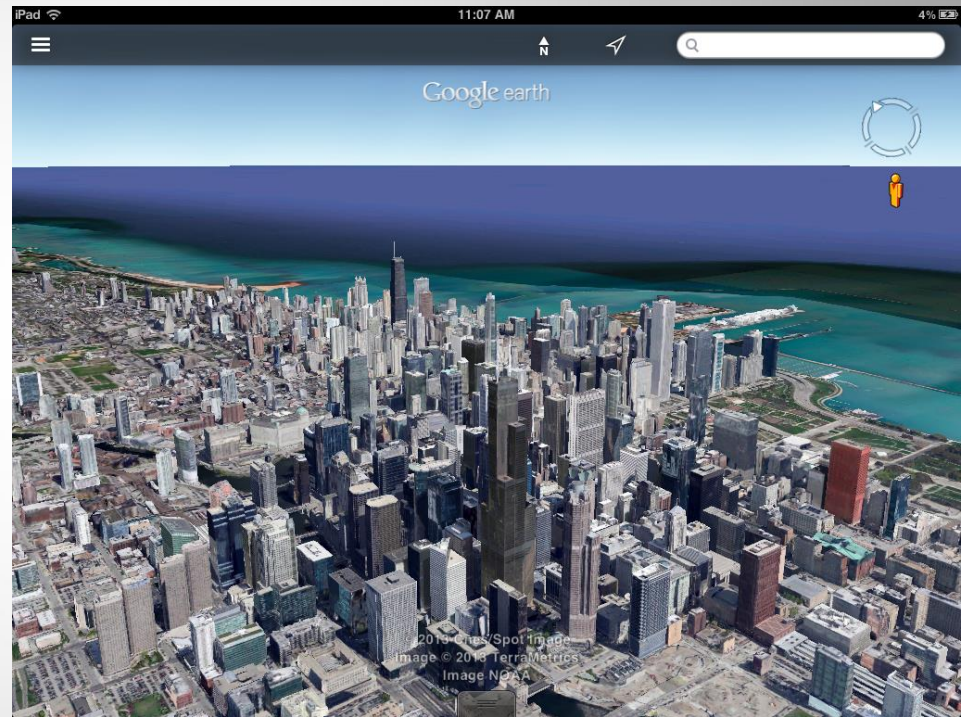
La **vision par ordinateur** regroupe les sciences et techniques permettant aux ordinateurs de **percevoir, voir** et **comprendre** l'environnement capté.

Google

StreetView



Google Earth



Google

Moteur de recherche d'image, classification automatique (deep learning)

Google search results for "chat bleu" (blue cat).

The search bar shows "chat bleu" and the "Images" tab is selected. The results are categorized into four groups:

- Chaton Bleu**: Three small images of blue kittens.
- Chat Bleu Dessin**: Five cartoon drawings of blue cats.
- Chat Gris Bleu**: Three photographs of blue cats.
- Chat Bleu Mar**: One cartoon drawing of a blue cat with wings.

Below these categories, a grid of 15 images shows various blue cats in different poses and settings. The URL at the bottom is: <https://www.google.fr/search?biw=1138&bih=558&tbm=isch&q=chaton+bleu&revid=1592118796&sa=X&ved=0ahUKEwjB5-6jrovMAhUGKQ8KHV3dCFUQ1QIIIHA>

Google

Reconnaissance faciale



Google Glass



Google goggles



Reconstruction 3D (Tango)



Google Car



Autres exemples

- Overview: <http://www.rsipvision.com/>
- Robotique ([liste entreprises](#)):
 - <https://www.aldebaran.com/fr>
 - <http://www.robosoft.com/>
 - Robotique industrielle: [Huget](#)
- Automobile: [Daimler](#), [Mobileye](#)
- Video: <http://360designs.io/>
 - <http://www.video-stitch.com/>
 - [ABlive3D](#), [Tagger](#)

Autres exemples

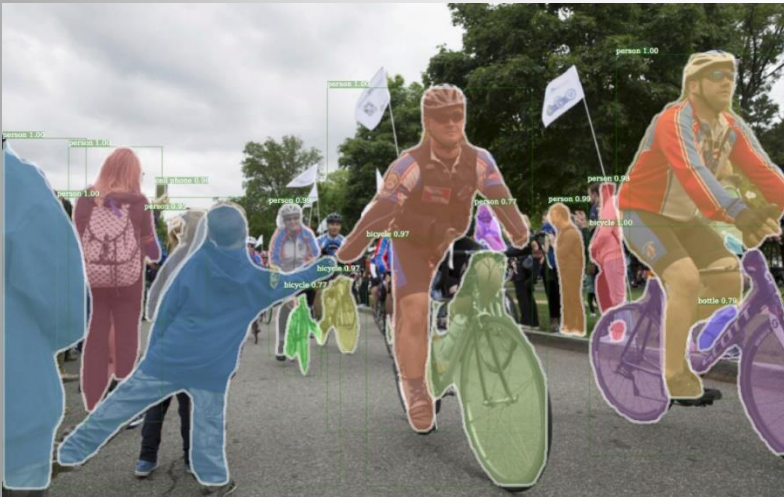
- Médical: <http://www.healthcare.siemens.fr/>
- Capture de Mouvement: <http://www.4dviews.com/>
- Reconstruction 3D
 - [Microsoft Kinect](#) (structured light)
 - <http://www.ign.fr/>
- Vidéosurveillance <http://www.evitech.com>
- OCR (poste, [plaques immatriculations](#))
- Contrôle et mesures ([R&D vision](#))

Autres exemples

- Effets spéciaux:
 - Image stabilisation, correction
 - Object/background removal, replacement
 - Artificial makeup, motion capture
 - 3d camera solver and object insertion
 - [Mocha](#), [After effect](#), [Nuke](#), [Natron](#)
- Advanced image processing
 - Photoshop, gimp, paint.net

Deep Learning

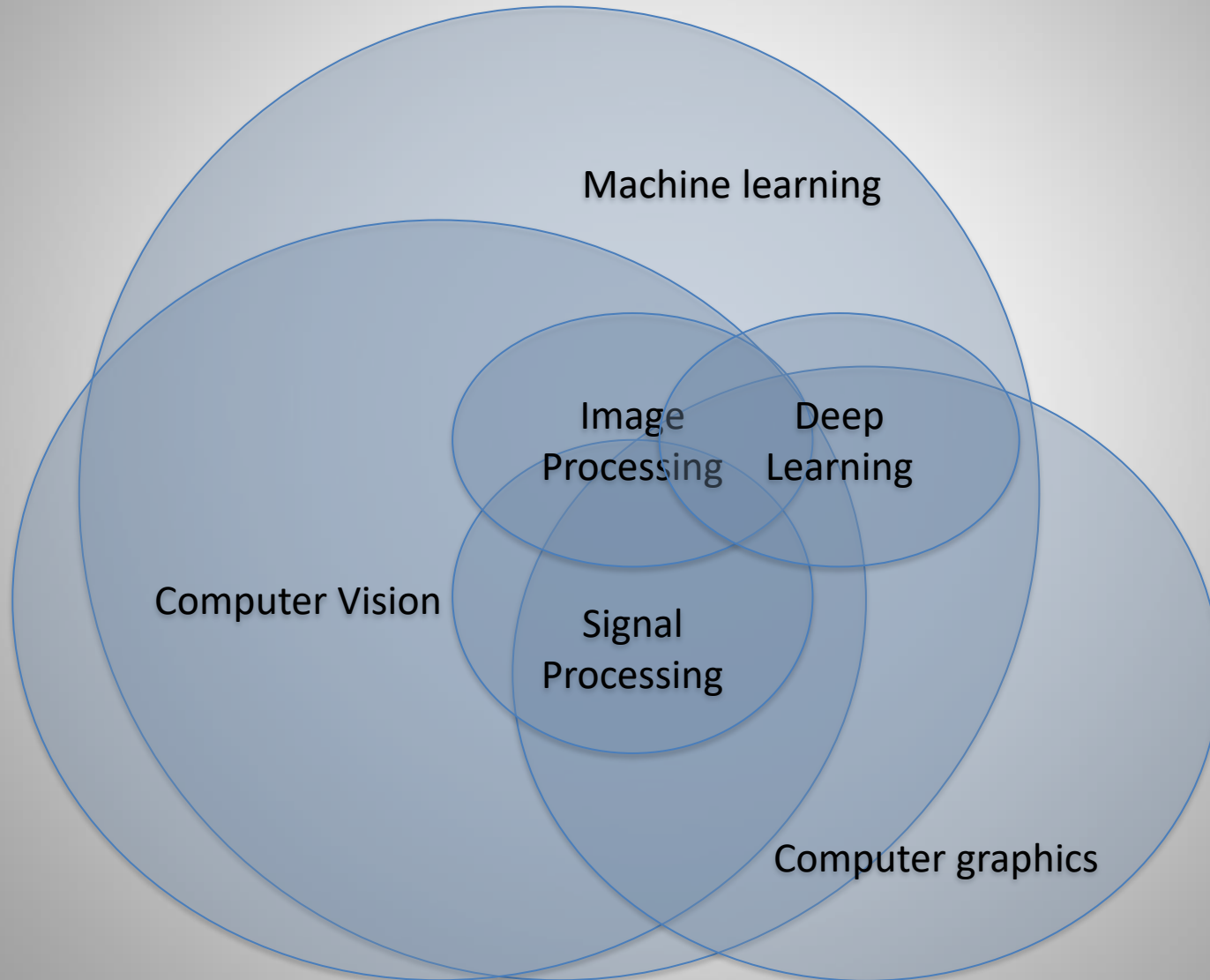
- Libraries: TensorFlow, Caffe, Torch, Detectron
- Yolo: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>
- OpenPose: <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>



Domaines Connexes

Domain	Input	Output
Image processing	Image	Image
Signal processing	Signal	Signal, quantitative information, e.g. Peak location,
Computer vision	Image/video	Image, quantitative/qualitative information, e.g. size, color, shape, classification, etc...
Machine learning	Any feature signal, from e.g. image, video, sound, etc..	Signal, quantitative/qualitative information, image,...
Computer graphics	3D models, textures, lightings, data..	Image, video, stereoscopic, 360°, video games

Domaines Connexes



Quelques entreprises 06

- **Bentley (Ex: Acute3D):** reconstruction 3D
- **Digital Barriers (Ex Kineo):** video surveillance
- **Airbus, Thales:** Imagerie satellite
- **Median Technologies:** médical
- **Therapixel:** médical
- **Optis:** simulation lumière
- **Lm3labs:** interfaces interactives
- **Robocortex:** SDK

Introduction à la vision par ordinateur

- Book: [Richard Szeliski](#), [Scott Krig](#)
- Quelques cours:
 - [Fei fei Li](#) - Stanford
 - [James Hays](#) Georgia Tech
 - [Marc Pollefeys](#) ETH
 - [Derek Hoiem](#) Urbana-Champaign
- Algèbre linéaire
 - [Stanford review](#)
 - [Matrix cookbook](#)

Comprendre l'image

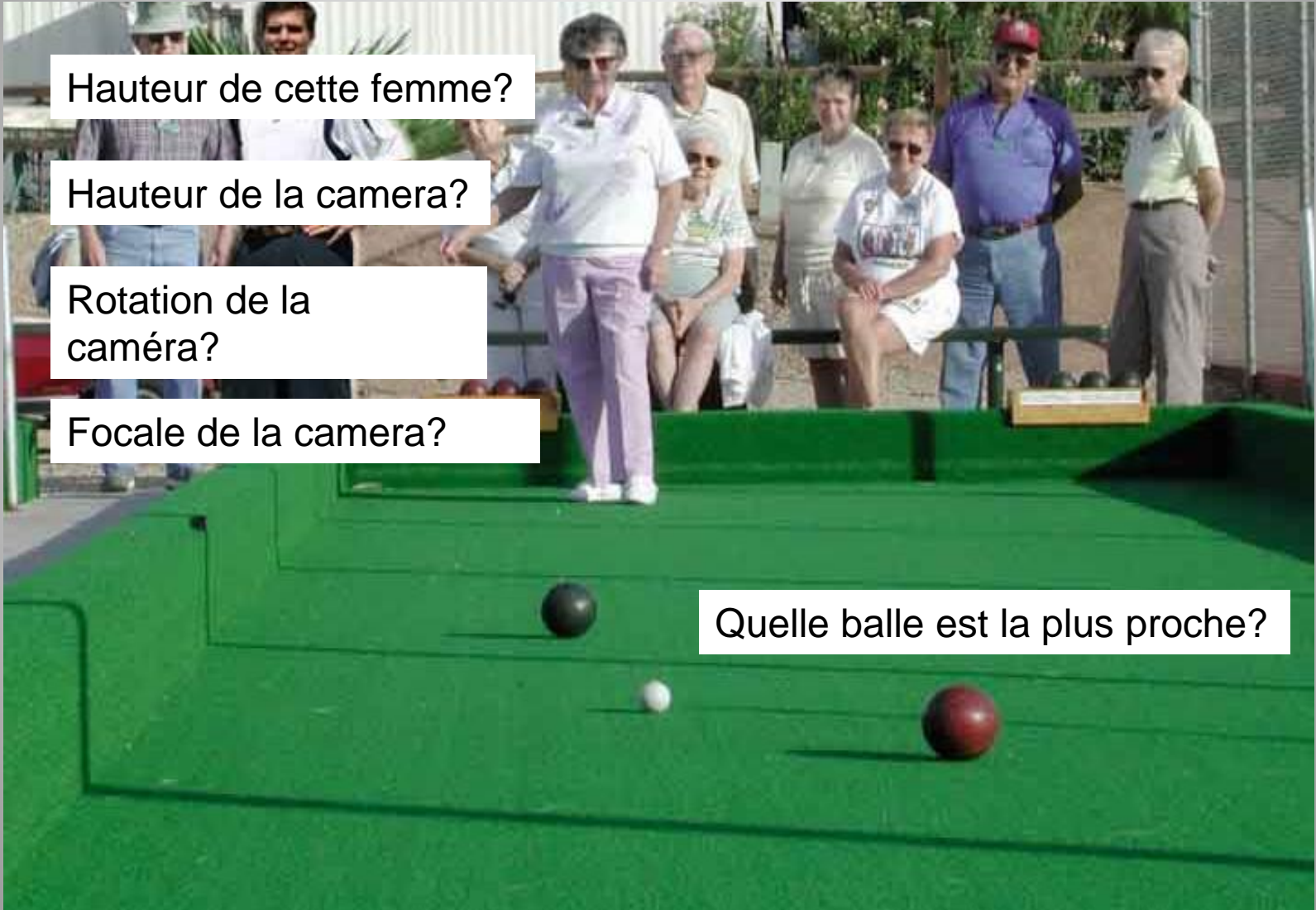
Hauteur de cette femme?

Hauteur de la camera?

Rotation de la
caméra?

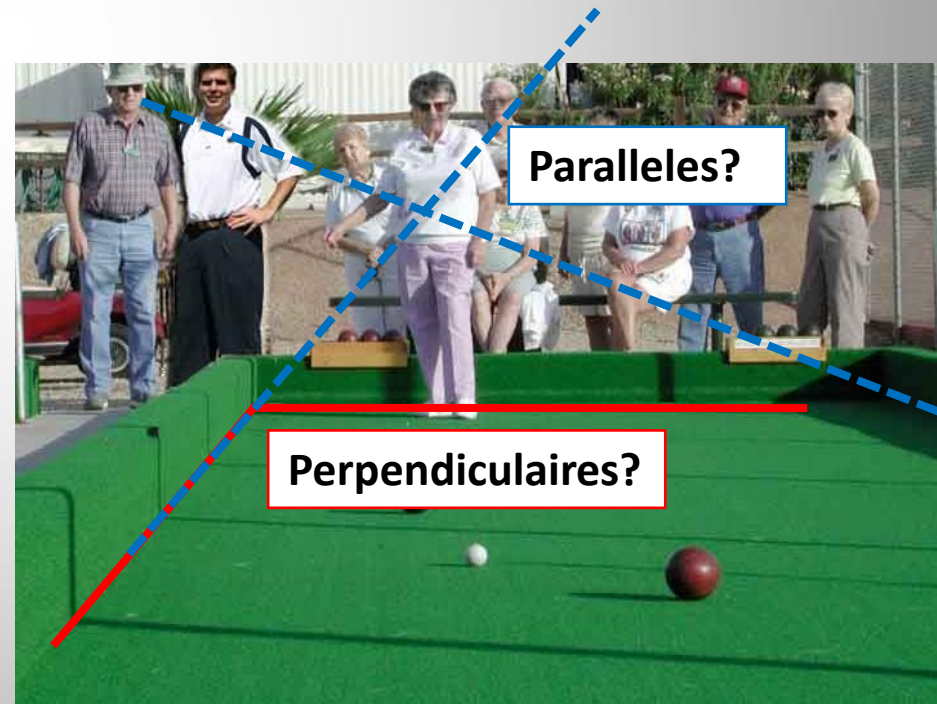
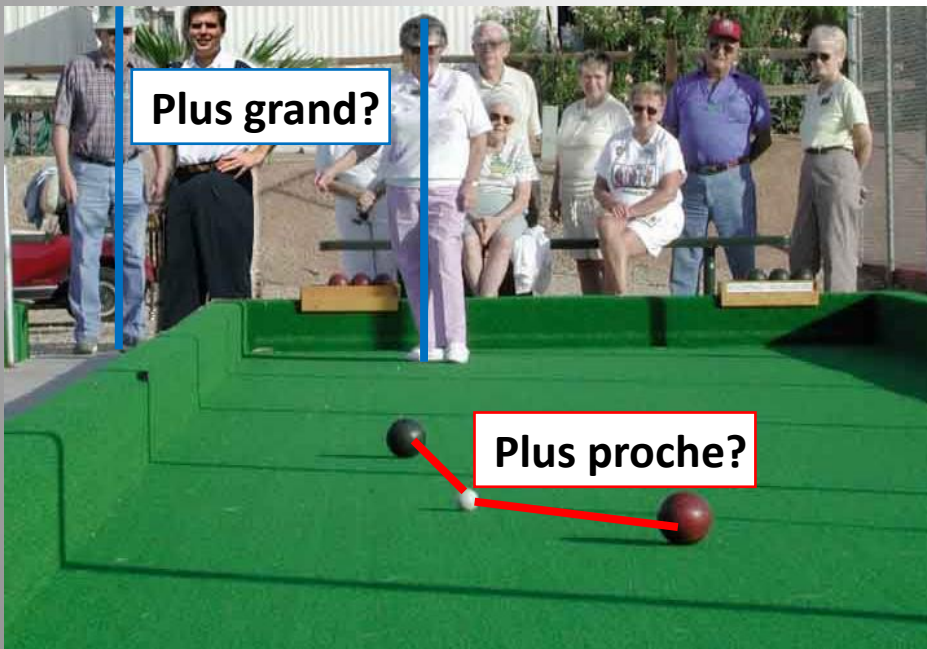
Focale de la camera?

Quelle balle est la plus proche?



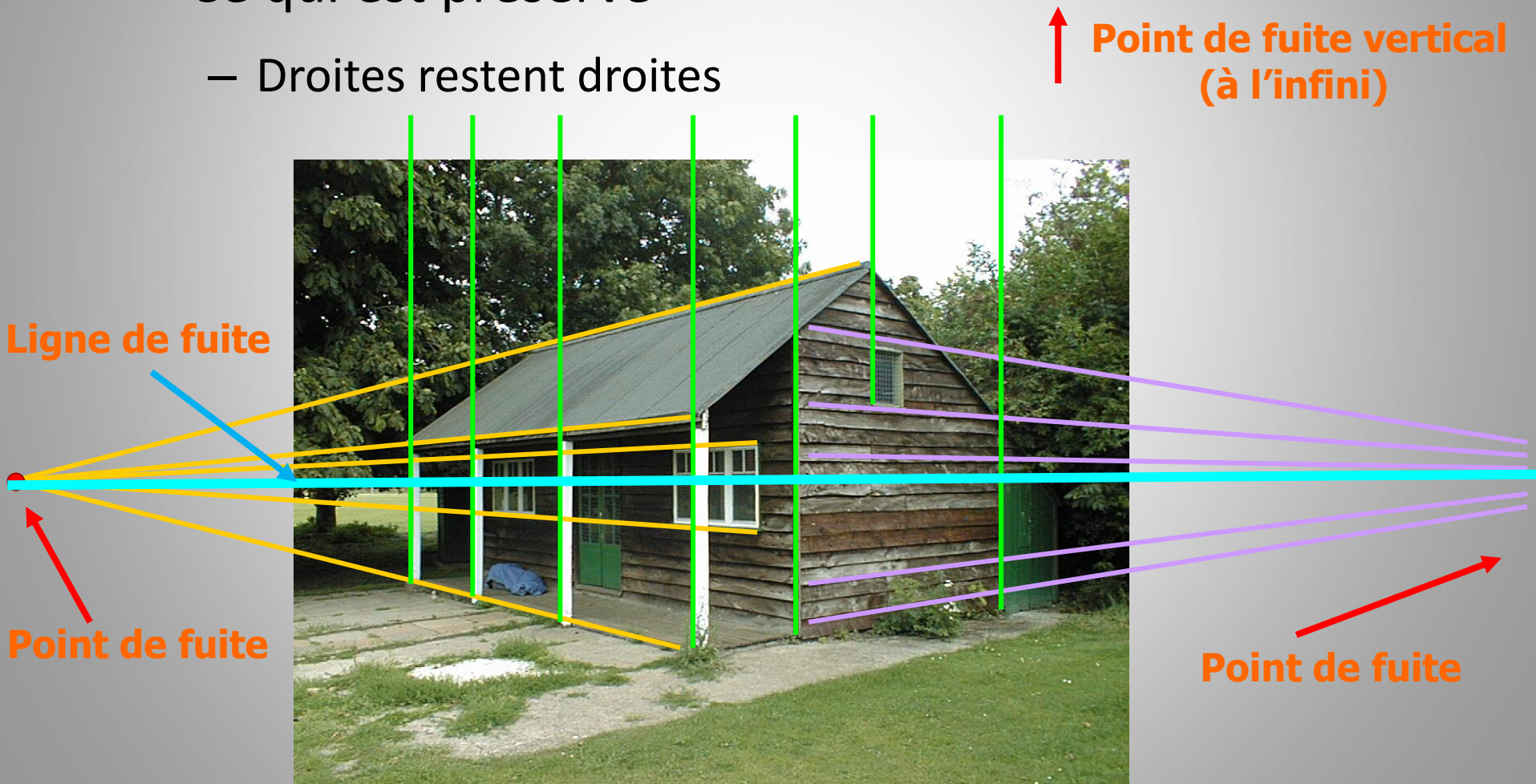
Comprendre l'image

- Ce qui est perdu
 - Longueurs
 - Angles



Comprendre l'image

- Ce qui est préservé
 - Droites restent droites



Comprendre l'image

- Propriété géométriques de la projection
 - Points restent des points
 - Droites restent droites
 - Plans donnent l'image complète
ou demi-plan
 - Polygones donnent des polygones
- Cas dégénérés:
 - Droite à travers centre optique donne un point
 - Plan à travers centre optique donne une droite

3D->image = projection

- Modèle de projection simple

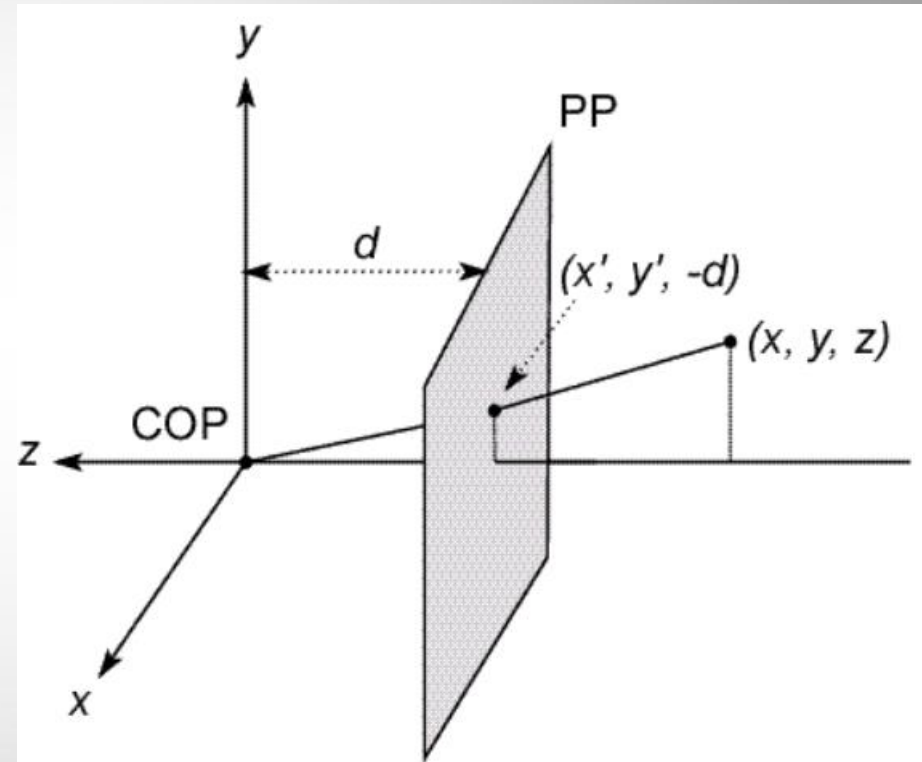
Équations projection:

$$(X, Y, Z) \rightarrow \left(-d \frac{X}{Z}, -d \frac{Y}{Z}, -d\right)$$

- On obtient:

$$(x', y') = \left(-d \frac{X}{Z}, -d \frac{Y}{Z}\right)$$

- Transformation non linéaire car division par Z
- Trick: coordonnées homogènes**



Coordonnées homogènes

- Conversion

Conversion en coordonnées homogènes

$$(x, y) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordonnées homogènes
image

$$(x, y, z) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordonnées homogènes
scène

Conversion à partir des coordonnées homogènes

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w, z/w)$$

Coordonnées homogènes

- Line equation: $ax + by + c = 0$

$$line_i = \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix}$$

- Append 1 to pixel coordinate to get homogeneous coordinate

$$p_i = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Line given by cross product of two points

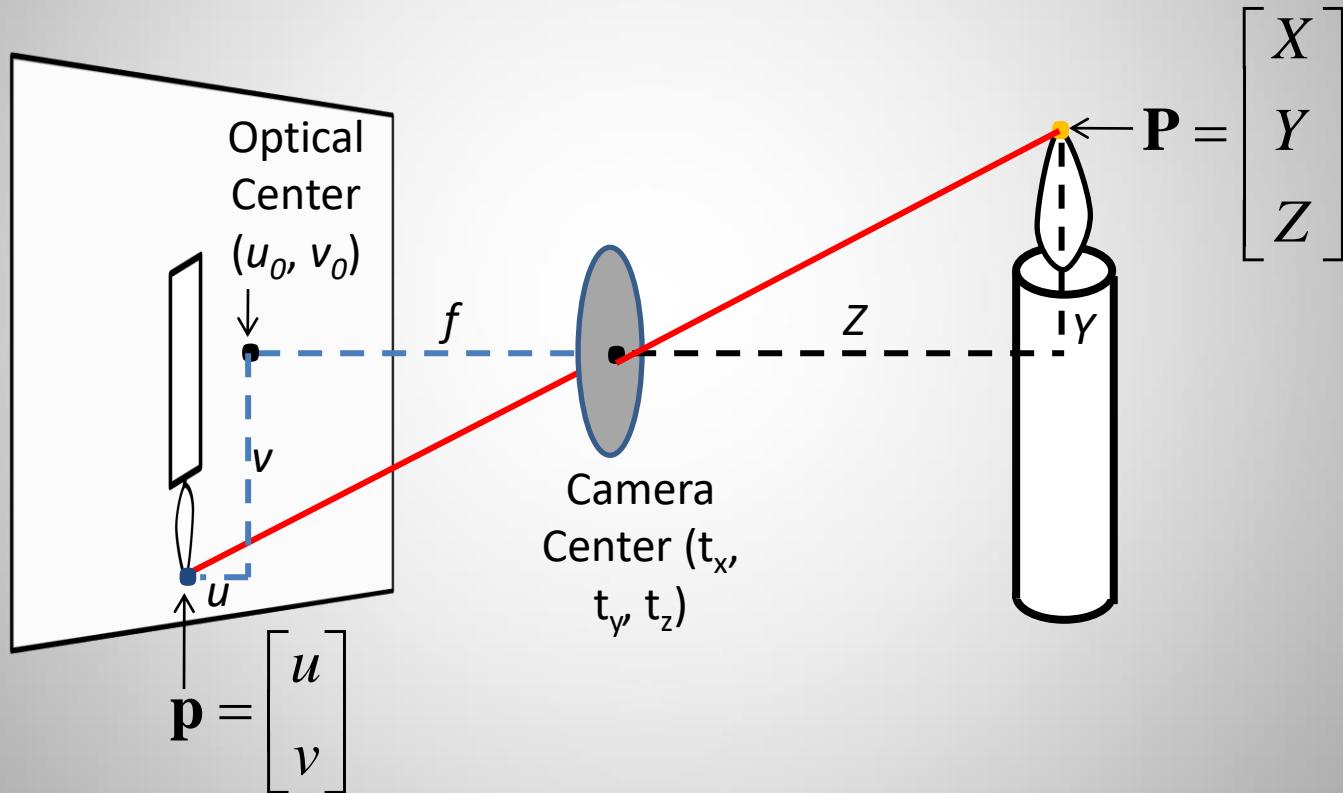
$$line_{ij} = p_i \times p_j$$

- Intersection of two lines given by cross product of the lines

$$q_{ij} = line_i \times line_j$$

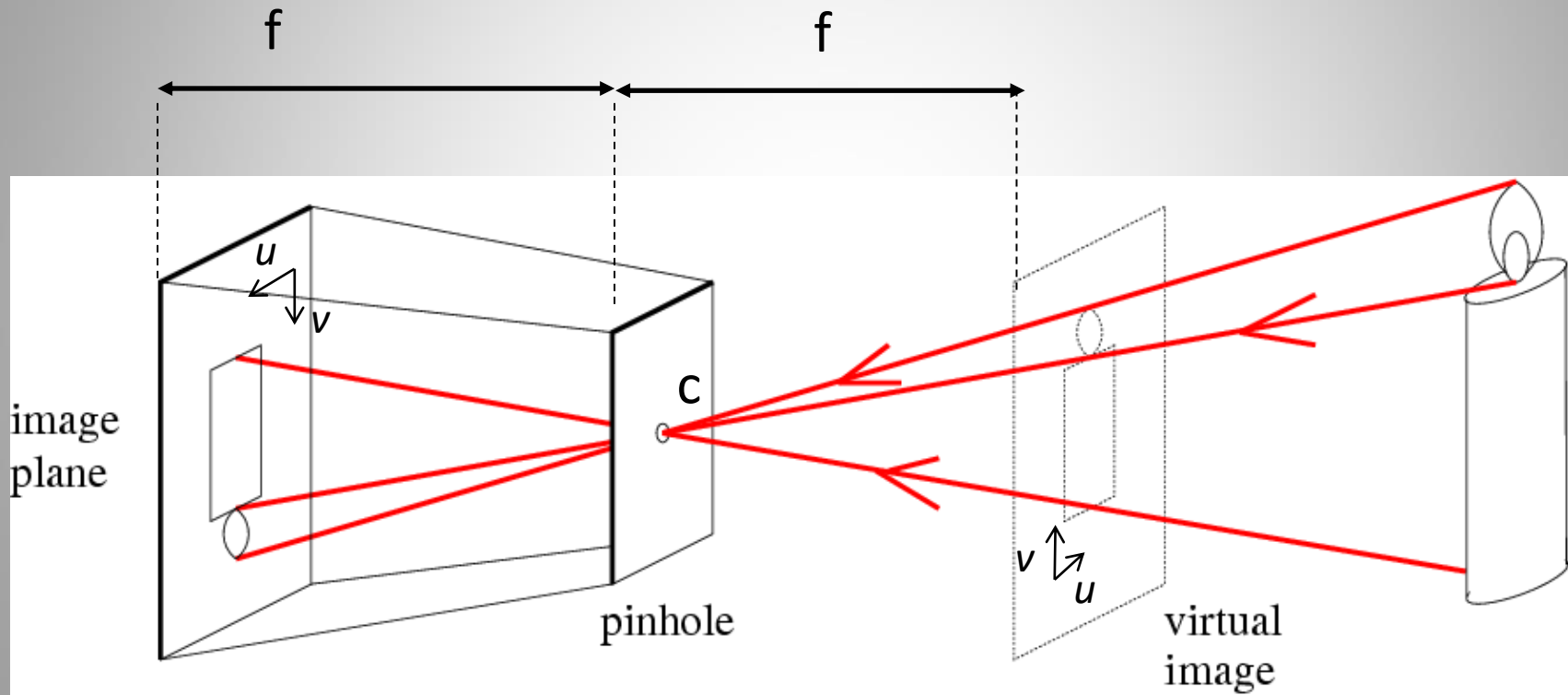
Formation de l'image

- Projection: world coordinates \rightarrow image coordinates



Formation de l'image

- Pinhole camera et image virtuelle

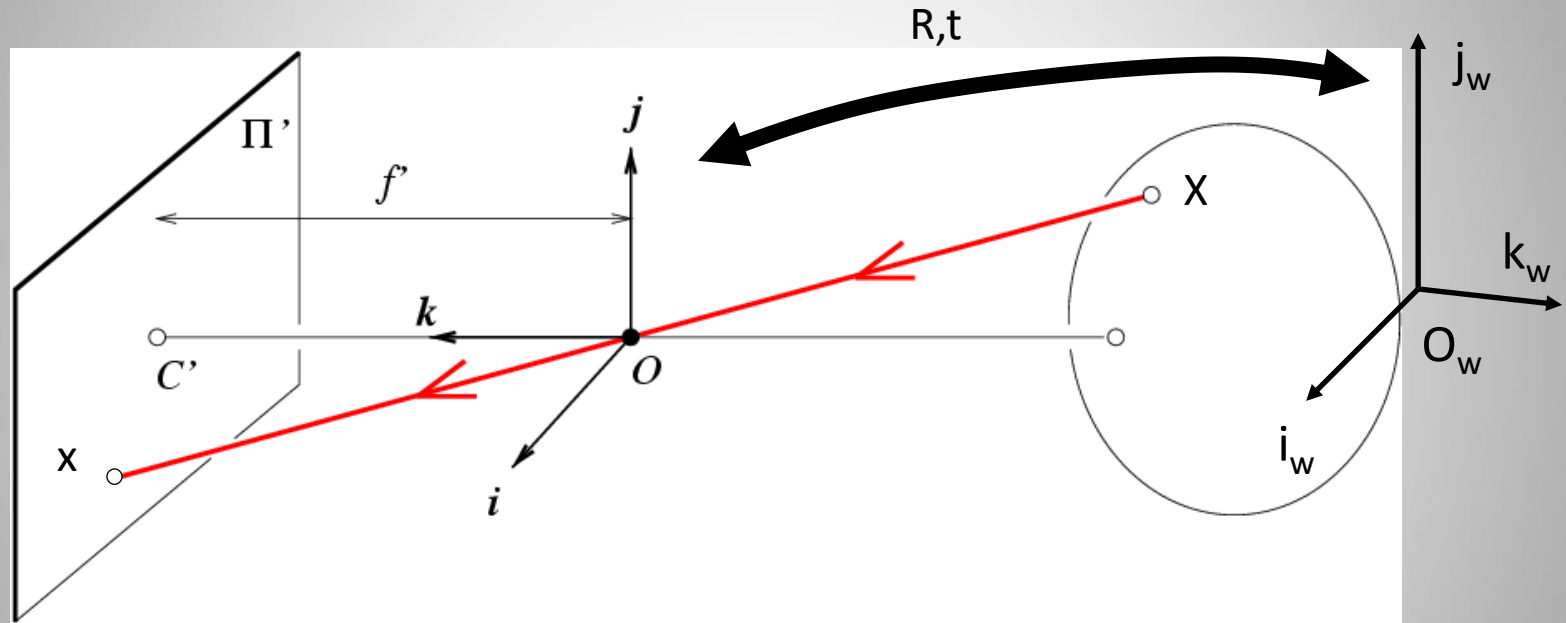


f = focal length

c = center of the camera

Formation de l'image

- Matrice de projection



$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$

\mathbf{x} : Image Coordinates: $(u, v, 1)$

\mathbf{K} : Intrinsic Matrix (3×3)

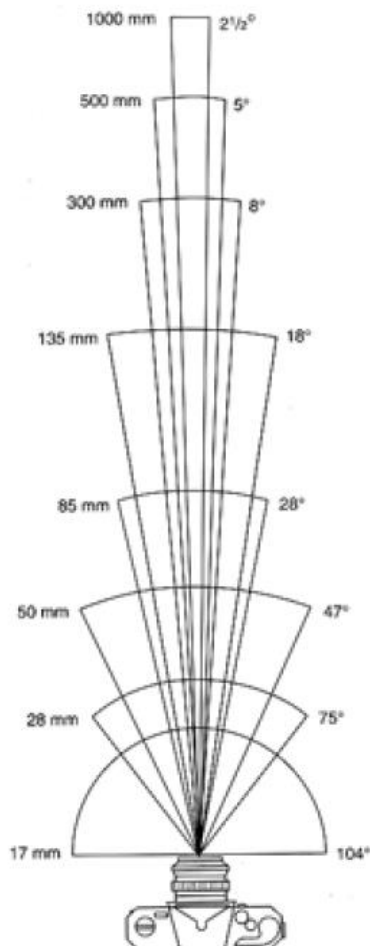
\mathbf{R} : Rotation (3×3)

\mathbf{t} : Translation (3×1)

\mathbf{X} : World Coordinates: $(X, Y, Z, 1)$

Formation de l'image

- Champs de vision (Zoom et focale f)



17mm



28mm



50mm

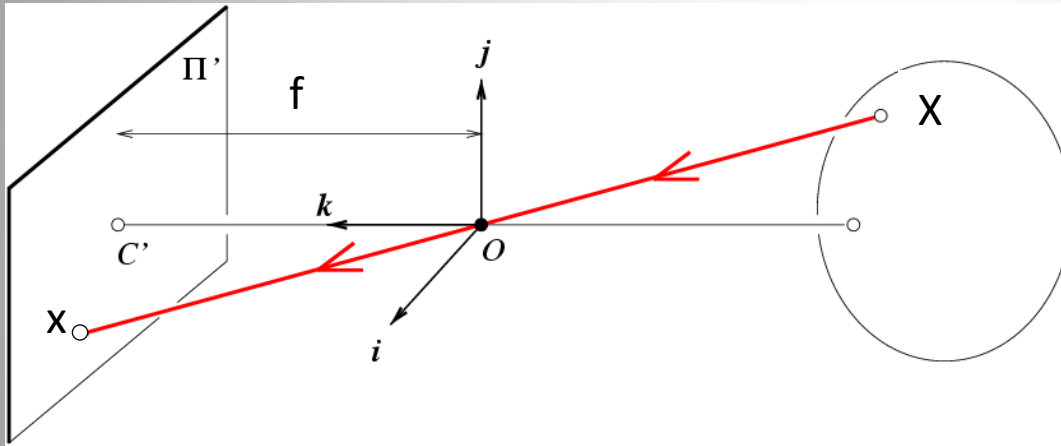


85mm

From London and Upton

Formation de l'image

- Modèle simplifié avec seulement f



Hypothèses intrinsèques

- Aspect ratio de 1
- Centre optique en $(0,0)$
- Pixels carrés

Hypothèse extrinsèques

- Pas de rotation
- Camera en $(0,0,0)$

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{X} \Rightarrow \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

- En enlevant les hypothèses intrinsèques:
 - Centre optique non centré -> u_0, v_0
 - Pixels non carrés
 - Ajout de skew

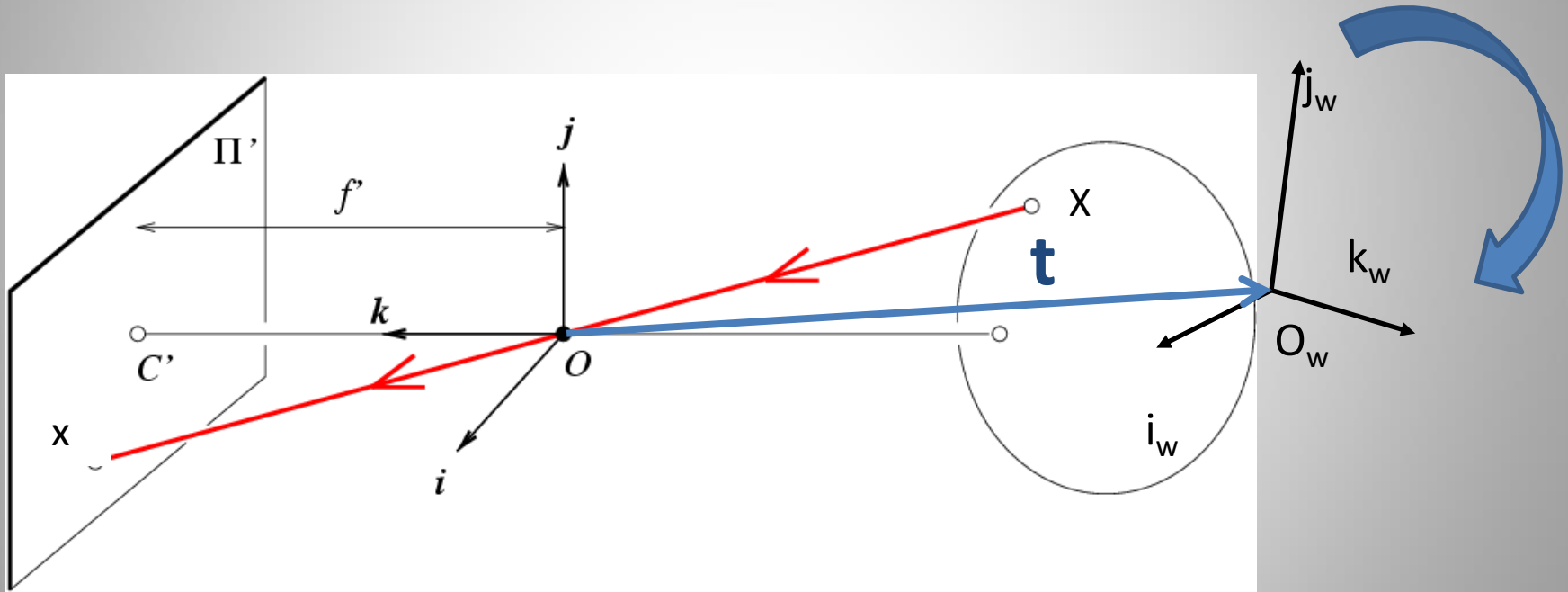
Hypothèse extrinsèques

- Pas de rotation
- Camera en $(0,0,0)$

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{X} \Rightarrow \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 & 0 \\ 0 & \beta & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

- Caméra orientée et translatée



Formation de l'image

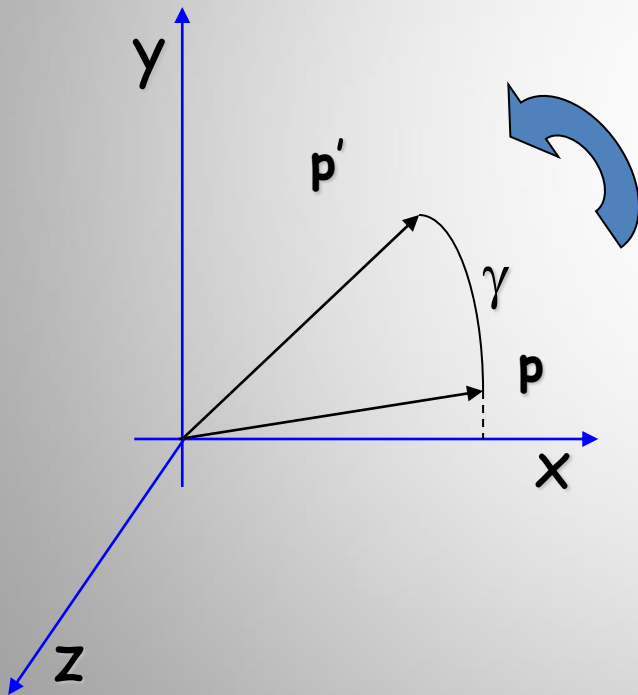
- On enlève l'hypothèse de Camera en (0,0,0)

Translation (tx,ty,tz)

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X} \Rightarrow \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

- Rotation autour des axes, **counter-clockwise**:



$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

- Avec la rotation

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$

5



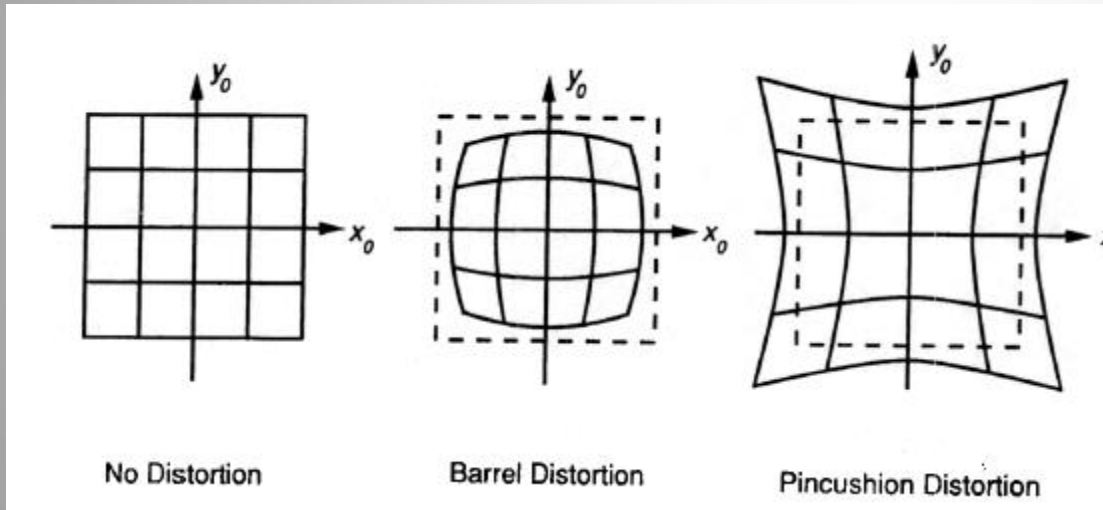
6

Degrès de liberté

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

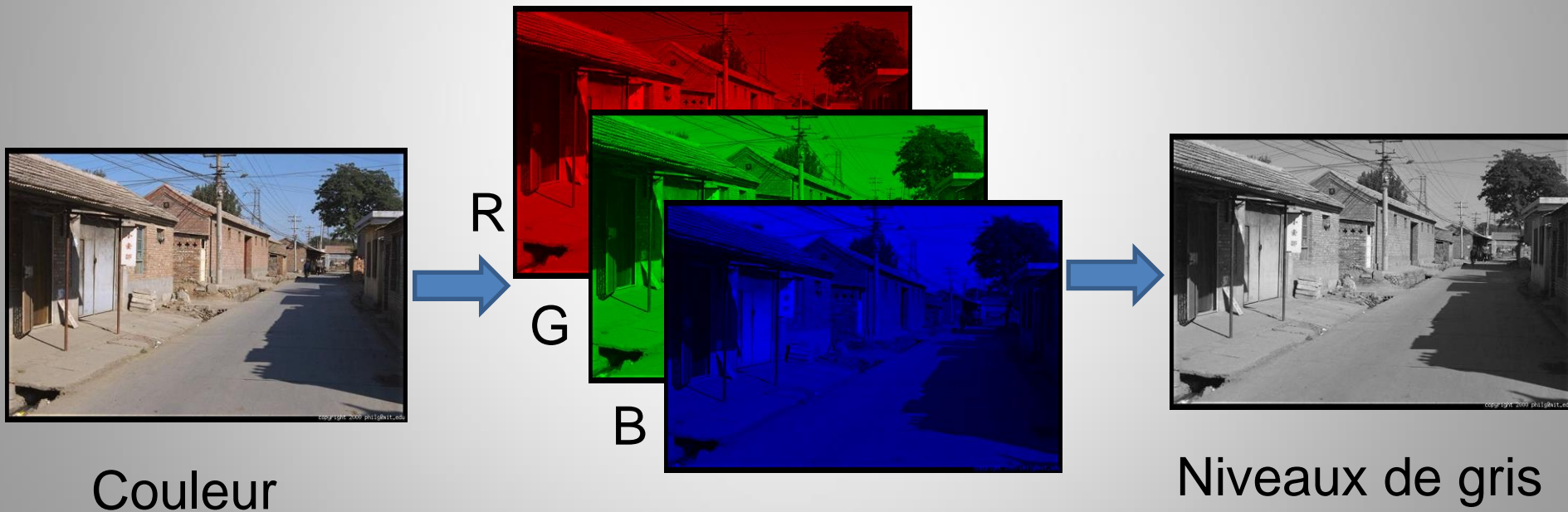
- Lentilles et distorsion



Corrected Barrel Distortion

Traitement de l'image

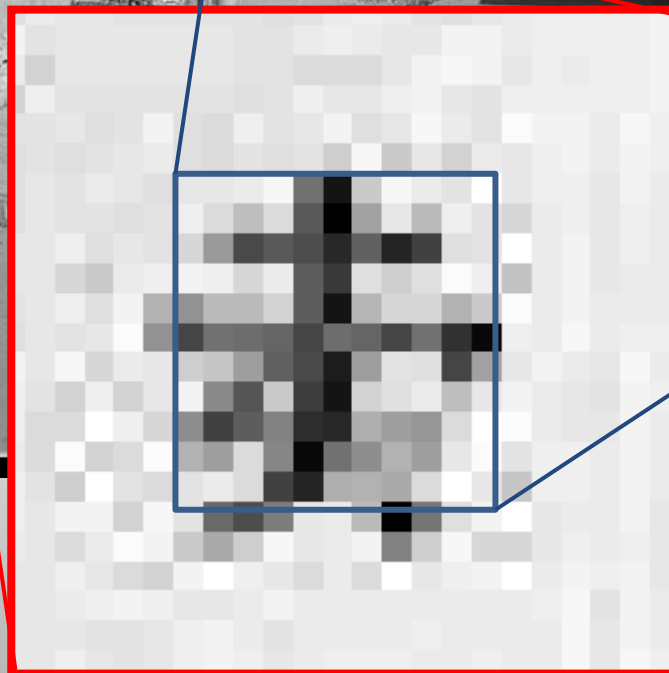
- Image de couleur = 3 images
- Algorithmes avec 1 entrée => Image de gris



Traitement de l'image



0.92	0.93	0.94	0.97	0.62	0.37	0.85	0.97	0.93	0.92	0.99
0.95	0.89	0.82	0.89	0.56	0.31	0.75	0.92	0.81	0.95	0.91
0.89	0.72	0.51	0.55	0.51	0.42	0.57	0.41	0.49	0.91	0.92
0.96	0.95	0.88	0.94	0.56	0.46	0.91	0.87	0.90	0.97	0.95
0.71	0.81	0.81	0.87	0.57	0.37	0.80	0.88	0.89	0.79	0.85
0.49	0.62	0.60	0.58	0.50	0.60	0.58	0.50	0.61	0.45	0.33
0.86	0.84	0.74	0.58	0.51	0.39	0.73	0.92	0.91	0.49	0.74
0.96	0.67	0.54	0.85	0.48	0.37	0.88	0.90	0.94	0.82	0.93
0.69	0.49	0.56	0.66	0.43	0.42	0.77	0.73	0.71	0.90	0.99
0.79	0.73	0.90	0.67	0.33	0.61	0.69	0.79	0.73	0.93	0.97
0.91	0.94	0.89	0.49	0.41	0.78	0.78	0.77	0.89	0.99	0.93

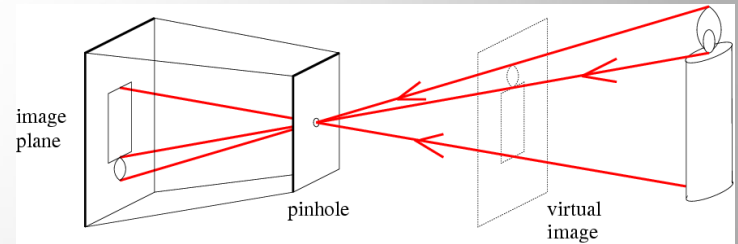
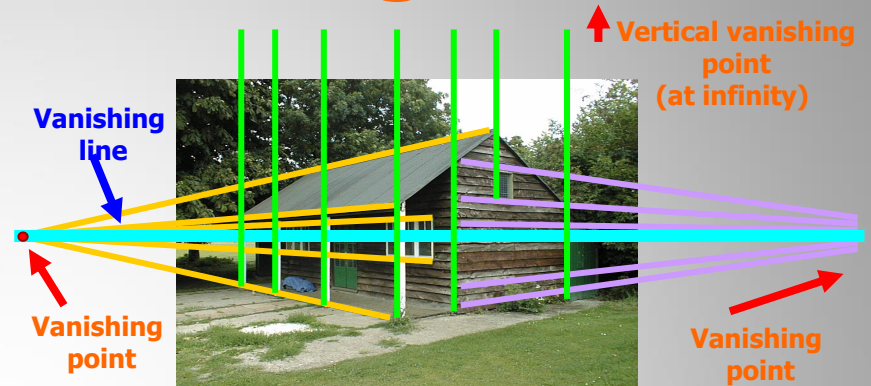


000 philg@mit.edu

Formation de l'image

Rappel

- Points et droites de fuite
- Modèle de caméra Pinhole et matrice de projection
- Coordonnées homogènes



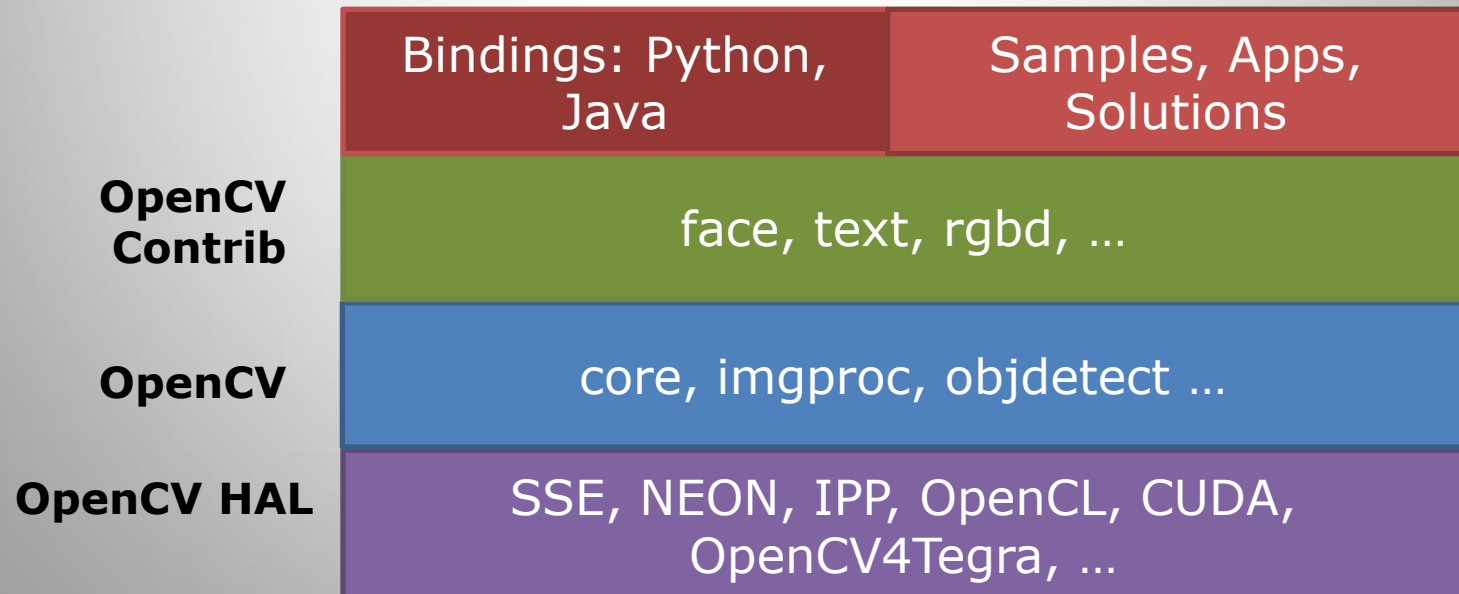
$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$

$$(x, y) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$



OpenCV

- <http://opencv.org/> et <https://github.com/Itseez/opencv>
- Librairie opensource C++
- BSD license, **10M** downloads, **500K+** lines of code
- Platforms:     





OpenCV

OpenCV Overview: > 500 functions

opencv.willowgarage.com

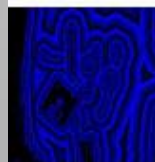
Robot support



General Image Processing Functions



Segmentation

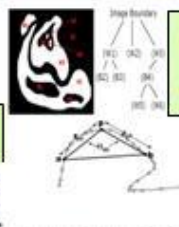
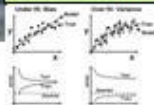


Transforms

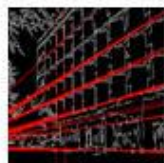


Machine Learning:

- Detection,
- Recognition



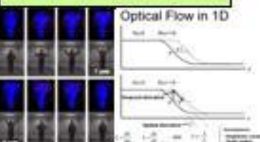
Geometric descriptors



Features



Tracking



Matrix Math

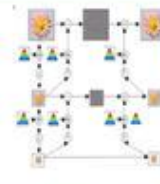
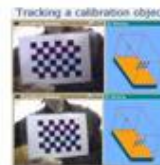
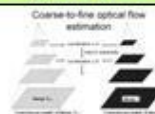
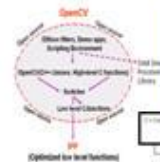


Image Pyramids



Camera calibration, Stereo, 3D



Utilities and Data Structures



Fitting



Exercice dernier cours

- Déplacer et Animer un objet
- Utiliser ImageTarget/Ground Plane Detection (Vuforia) et ajouter objet
- Ajouter un Canvas + image + fixer orientation smartphone
- Bouton pour lancer missile
- Système de particule pour fumée

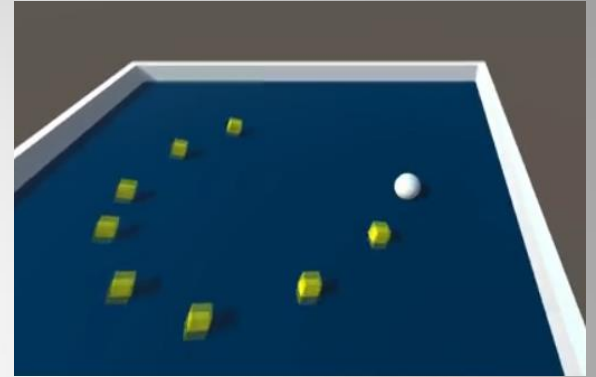


Matériel: <https://github.com/vestri/CoursAR>

Nouvel exercice

Roll a Ball

- Déplacer et Animer un objet
- Déplacer caméra avec objet
- Détecter collision d'objets
- Contrôle par smartphone ([Gyroscope.attitude](https://gyroscope.attitude))
- Score et construction du jeu



<https://learn.unity.com/project/roll-a-ball-tutorial>

Pour la semaine prochaine

Préparer un projet/demo

- Avec de la réalité augmentée, animation, effets...
- Unity&vuforia ou JS ou ce que vous voulez
- Si possible présenter sur mobile
- Expliquer en quelques mots votre projet, vos difficultés et comment résolues

Préparer quelques slides

- Projet et objectifs
- Développements, points techniques particulier, difficulté